

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ  
І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

# **СПЕЦКУРС З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

*(для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання напряму  
підготовки 6.060101 «Будівництво», спеціальності «Міське  
будівництво і господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування,  
ремонт та реконструкція будівель»)*

**Харків – ХНУМГ – 2013**

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів і практичних занять з дисципліни «Спецкурс з енергозбереження» (для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.060101 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво і господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. О. Алексахін. – Х.: ХНУМГ, 2013 – 26 с.

Укладач: **О. О. Алексахін**

Методичні вказівки побудовані за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу

Рецензент: доц. В. І. Абелєшов

Затверджено на засіданні кафедри теплохолодопостачання,  
протокол № 8 від 29 серпня 2012 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
1. Енергозбереження у системах споживання теплової і електричної енергії.....	4
1.1 Практичне заняття 1. Розрахунок теплових втрат через стінку. Обчислення товщини теплової ізоляції .....	4
1.2 Практичне заняття № 2. Розрахунок теплового балансу приміщення.....	6
1.3 Практичне заняття №3. Розрахунок витрат теплової і електричної енергії для систем вентиляції і кондиціювання повітря.....	9
1.4 Практичне заняття №4. Розрахунок витрат теплової і електричної енергії для систем водопостачання .....	12
2. Енергозбереження у системах вироблення і транспортування теплової і електричної енергії .....	14
2.1 Практичне заняття №5. Обчислення витрат палива для забезпечення району забудови теплотою .....	14
2.2 Практичне заняття №6. Розрахунок втрат теплоти ізольованими трубопроводами .....	16
2.3 Практичне заняття №7. Обчислення вартісних показників спорудження і експлуатації об'єктів енергозабезпечення (на прикладі теплових мереж). Оптимальні питомі втрати тиску для водяних мереж .....	18
<b>Список використаних джерел</b> .....	22
<b>Додатки</b> .....	23

# 1. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У СИСТЕМАХ СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

## 1.1. Практичне заняття №1. Розрахунок теплових втрат через стінку. Обчислення товщини теплової ізоляції

Мета заняття – закріплення основних положень теорії теплопередачі, ознайомлення з методикою обчислення термічного опору огорожуючих конструкцій будівель.

Тепловий потік, що проходить всередині плоскої стінки, залежить від товщини стінки ( $\delta$ ), площі поверхні стінки, перпендикулярній напрямку розповсюдження теплового потоку  $A$ , різниці температур  $t_1$  і  $t_2$  (див. рис. 1.1, а), здатності матеріалу проводити тепло, яку оцінюють коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ . Величину теплового потоку обчислюють за рівнянням

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A = \frac{(t_1 - t_2) \cdot A}{R_w}, \text{ Вт}, \quad (1.1)$$

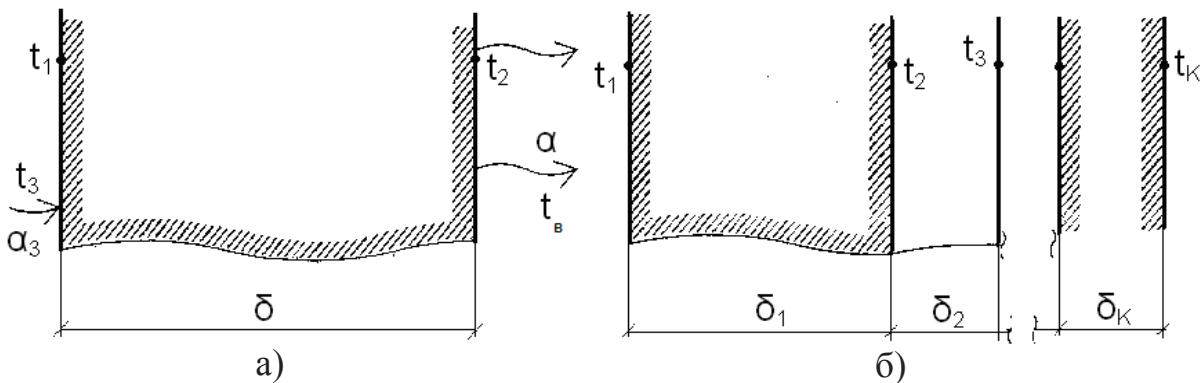


Рис. 1.1 – Розрахункові схеми стінки: а – одношарової; б – багатошарової  
де  $R_w = \frac{\delta}{\lambda}$  – термічний опір шару матеріалу,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Значення коефіцієнтів теплопровідності визначають експериментально на спеціальних установках. Величини коефіцієнтів для деяких матеріалів наведено у дод. Б.

Якщо стінку складено з декількох шарів (рис.1.1, б), величину теплового потоку, що проходить всередині конструкції, розраховують за формулою

$$Q = \frac{(t_1 - t_\kappa) \cdot A}{R_1 + R_2 + \dots + R_\kappa}, \quad (1.2)$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}; \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2}; \quad R_\kappa = \frac{\delta_\kappa}{\lambda_\kappa},$$

де  $t_1, t_\kappa$  – температура на поверхнях конструкції;  $\kappa$  – кількість шарів.

Теплові втрати (тепловий потік) через стінку від середовища, що рухається вздовж зовнішньої стінки (рис. 1.1) до середовища, що рухається вздовж внутрішньої поверхні, обчислюють за рівнянням теплопередачі

$$Q = K \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{с}}) \cdot F = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{с}}) \cdot A}{R_{\text{т}}}, \quad (1.3)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{ш}} + \frac{1}{\alpha_{\text{с}}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{с}}}}; \quad (1.4)$$

де  $K = 1/R_{\text{т}}$  – коефіцієнт теплопередачі;  $R_{\text{т}}$  – опір теплопередачі;  $t_{\text{в}}$ ,  $\alpha_{\text{в}}$  – температура середовища і коефіцієнт теплообміну з боку зовнішньої поверхні;  $t_{\text{с}}$ ,  $\alpha_{\text{с}}$  – температура середовища і коефіцієнт теплообміну з боку внутрішньої поверхні стінки.

Для багатошарової конструкції стіни коефіцієнт теплопередачі у рівнянні (1.3) розраховують за формулою

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + \frac{1}{\alpha_{\text{с}}}} \quad (1.5)$$

### Контрольні завдання

**Завдання 1.1.** Обчислити питомий тепловий потік через 1 м<sup>2</sup> плоскої стінки товщиною 200 мм, виготовленої з залізобетону ( $\lambda = 1.92$  Вт/м\*°C), якщо температури на поверхнях дорівнюють -15°C і 15°C.

**Відповідь:** 288,46 Вт/м<sup>2</sup>

**Завдання 1.2.** Використовуючи результати обчислень попереднього завдання, визначити товщину шару матеріалу, потрібну для зменшення втрат теплоти (теплого потоку) через стінку у два рази. Обчислити також вагу додаткового залізобетону, необхідного для забезпечення заданих умов, якщо розміри стінки 3х5 м, щільність бетону 2500 кг/м<sup>3</sup>.

**Відповідь:** потрібна товщина 0,4 м; вага додаткового бетону 7500 кг.

**Завдання 1.3.** Для умов завдання 1.1. визначити товщину шару додаткової теплоізоляції для зменшення потоку у два рази. Обчислити вагу додаткового шару теплоізоляції. Коефіцієнт теплопровідності і щільність матеріалу ізоляції прийняти рівними відповідно 0.05 Вт/м\*°C і 200 кг/м<sup>3</sup>. Порівняти результати розв'язання завдань 1.2, 1.3.

#### Розв'язання:

1. Тепловий потік для умов застосування додаткової теплоізоляції стінки

$$q_2 = q/2 = 288,46/2 = 144,23 \text{ Вт/м}^2,$$

$q = 288,46$  Вт/м<sup>2</sup> – тепловий потік для неізольованої стінки (див. розв'язання завдання 1.1)

2. Термічний опір конструкції стіни з теплоізоляцією.

$$R_{\text{к}} = \frac{t_1 - t_2}{q_2} = \frac{30}{144,23} = 0,208 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

3. Тепловий опір шару теплоізоляції визначаємо як різницю значень опорів стінки з ізоляцією і без неї.

$$R_{\text{із}} = R_{\text{к}} - R_{\text{ш}} = 0,208 - 0,104 = 0,104 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{ш}} = 0,104 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (\text{див. розв'язання завдання 1.1})$$

4. Товщину необхідного шару теплоізоляції ( $\delta_{iz}$ ), обчислюємо, використовуючи формулу для термічного опору шару.

$$R_{iz} = \delta_{iz} / \lambda_{iz},$$

$$\delta_{iz} = R_{iz} * \lambda_{iz} = 0,104 * 0,05 = 0,0052 \text{ м}$$

5. Об'єм матеріалу шару теплової ізоляції

$$V_{iz} = 3 * 5 * \delta_{iz} = 3 * 5 * 0,0052 = 0,078 \text{ м}^3$$

6. Вага матеріалу для теплоізоляції у 481 раз менше додаткового шару залізобетону, що забезпечує зменшення теплового потоку ( $7500/15,6=481$  раз)

**Завдання 1.4.** Плоска стінка складена з двох шарів. Перший шар має коефіцієнт теплопровідності  $0,23 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$  і товщину  $145 \text{ мм}$ , другий - відповідно  $0,5 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$  і  $100 \text{ мм}$ . Обчислити температуру на поверхні між шарами, якщо різниця температур на зовнішніх поверхнях шарів дорівнює  $10^{\circ}\text{C}$ .

**Відповідь:**  $6^{\circ}\text{C}$

**Завдання 1.5.** Знайти термічний опір теплопередачі та величину теплового потоку через стінку висотою  $4 \text{ м}$ , довжиною  $6 \text{ м}$  і товщиною  $350 \text{ мм}$ , виготовлену з цегли (коефіцієнт теплопровідності  $0,7 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ ). Температура повітря в приміщенні  $18^{\circ}\text{C}$ , зовнішнього повітря  $t_{\text{в}} = -23^{\circ}\text{C}$ , коефіцієнти теплообміну з боку зовнішнього і внутрішнього повітря дорівнюють відповідно  $23$  і  $8,7 \text{ Вт/м}^2\text{}^{\circ}\text{C}$ .

**Відповідь:** термічний опір теплопередачі  $0.658 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ ; тепловий потік  $1495 \text{ Вт}$ .

**Завдання 1.6.** Стінка будівлі виготовлена з двох шарів товщиною  $100$  та  $300 \text{ мм}$ . Коефіцієнти теплопровідності шарів дорівнюють відповідно  $0,7$  і  $1,5 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ . Коефіцієнти теплообміну з боку зовнішнього і внутрішнього повітря прийняти за попереднім завданням. Визначити товщину шару додаткової теплоізоляції для забезпечення потрібного опору теплопередачі  $R_{\text{т.т}} = 2,0 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ , якщо коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції становить  $0,05 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ .

**Відповідь:**  $75 \text{ мм}$

**Джерела:** [2, 6, 8].

## 1.2. Практичне заняття №2. Розрахунок теплового балансу приміщення

*Мета заняття* – поглиблення основних положень теорії теплопередачі, ознайомлення з методикою складання теплових балансів приміщень будівель.

Температурні умови в приміщенні залежать від теплової потужності системи опалення, теплозахисних властивостей огорожуючих конструкцій, інтенсивності інших джерел надходження та втрат теплоти.

Тепловий баланс приміщення формулюється наступним чином.

У сталому режимі теплові втрати приміщення ( $Q_1$ ) дорівнюють надходженням теплоти ( $Q_2$ )

$$Q_1 = Q_2, \quad (1.6)$$

Втрати теплоти складаються з теплового потоку через огорожуючі конструкції і витрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря

$$Q_1 = Q_A + Q_B$$

Втрати теплоти через огорожуючі конструкції визначають як суму потоків через всі види огорожень, що утворюють приміщення (зовнішні стіни, вікна, підлога, стеля), з використанням формул, наведених у розділі 1.1, які при розрахунках систем опалення записують у вигляді

$$Q_A = \frac{1}{R} * A * (t_g - t_z) * (1 + \sum \beta) * n, \quad (1.7)$$

де  $t_g, t_z$  – розрахункова температура внутрішнього і зовнішнього повітря;  $\beta$  – додаткові втрати від основних втрат (при типовому проектуванні приймають рівними 0,05);  $n$  – коефіцієнт, що враховує положення зовнішньої поверхні огороження відносно зовнішнього повітря.

Витрати теплоти  $Q_B$  обчислюють за формулою

$$Q_B = 0,337 * A_{пл} * h * (t_g - t_z), \quad (1.8)$$

де  $A_{пл}$  – площа підлоги приміщення,  $h$  – висота приміщення від підлоги до стелі, але не більше 3,5м.

Надходження теплоти у приміщення є сумою теплового потоку від опалювальних приладів ( $Q_{оп}$ ), теплового потоку від неізолюваних трубопроводів опалення, які прокладено у приміщенні ( $Q_{тр}$ ), теплового потоку, що надходить у приміщення від освітлення, електричних приладів, обладнання ( $Q_{эл}$ ):

$$Q_2 = Q_{оп} + Q_{тр} + Q_{эл} \quad (1.9)$$

### Контрольні завдання

**Завдання 1.7.** Для наведеного на рис. 1.2 плану приміщення обчислити тепловий потік через зовнішні стіни при умові, що температура зовнішнього і внутрішнього повітря дорівнює  $t_g = -23^\circ\text{C}, t_z = 20^\circ\text{C}$ . Коефіцієнт, що враховує положення поверхні огороження, прийняти рівним 1,0.

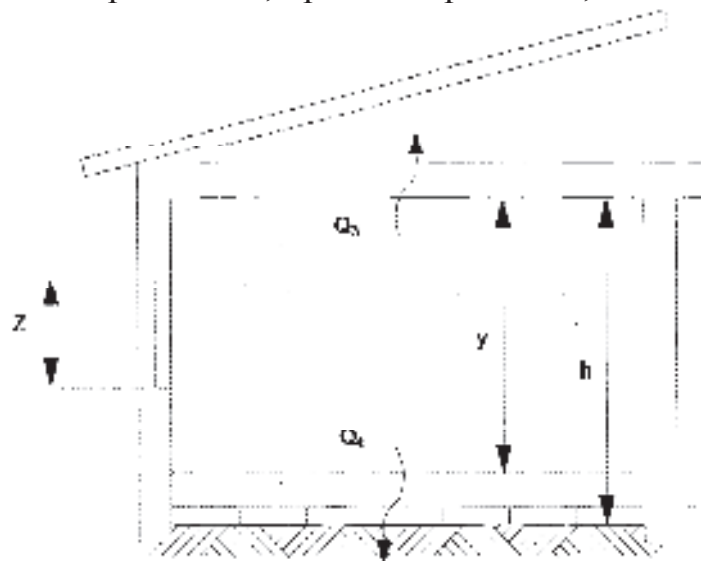


Рис. 1.2 – Розрахункова схема теплових втрат приміщенням

**Розв'язання:**

1. Площа зовнішніх стін приміщення без врахування площі вікон

$$A_1 = m \cdot h + L \cdot h - p \cdot z = 4,7 \cdot 4 + 5,5 \cdot 4 - 1,5 \cdot 1,6 = 38,4 \text{ м}^2$$

2. Тепловий потік через зовнішні стіни

$$Q_1 = \frac{1}{R} \cdot A_1 \cdot (t_e - t_z) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_1 = \frac{1}{2,4} \cdot 38,4 [20 - (-23)] \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 722,4 \text{ Вт}$$

**Завдання 1.8.** Для наведеного на рис. 1.2 плану приміщення обчислити втрати теплоти, прийнявши значення температур зовнішнього і внутрішнього повітря  $-23^\circ\text{C}$  і  $20^\circ\text{C}$  відповідно. Інші вихідні данні прийняти за табл. 1.1.

**Завдання 1.9.** Для вихідних даних, наданих у табл.1.1 та у завданні 1.8., обчислити витрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря.

**Завдання 1.10.** Використовуючи результати завдань 1.9, 1.10 визначити сумарні втрати теплоти для приміщення.

**Завдання 1.11.** З використанням результатів обчислень за завданням 1.7. визначити теплову потужність опалювальних приладів, встановлених у приміщенні (рис. 1.2), якщо надходження теплоти від неізолюваних трубопроводів опалення, освітлення становить 600 Вт. Інші вихідні данні прийняти у табл. 1.1 для варіанта 6.

Таблиця 1.1 – Вихідні данні за варіантами

Величина	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
Геометричні розміри приміщення, м:						
- m	3,5	6,2	6,3	5,2	5,0	4,7
- L	5,2	4,5	3,5	4,0	7,0	5,5
- p	1,1	1,4	1,5	1,1	1,4	1,5
- z	1,2	1,4	1,6	1,5	1,7	1,6
- y	2,8	3,0	3,1	3,3	2,9	3,5
- h	3,3	3,5	3,7	3,6	3,4	4,0
Термічний опір огорожень зовнішні стінки $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{C}}{\text{Вт}}$	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4
- вікна	0,39	0,42	0,5	0,39	0,42	0,5
- стеля	2,0	2,0	2,0	2,4	2,4	2,4
- підлога	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

**Розв'язання:**

1. Тепловий потік з приміщення до зовнішнього повітря через вікна

$$Q_2 = \frac{1}{R_2} \cdot A_2 \cdot (t_e - t_z) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_2 = \frac{1}{0,5} \cdot 2,4 [20 - (-23)] \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 216,72 \text{ Вт}$$

$$A_2 = 1,5 \cdot 1,6 = 2,4 \text{ м}^2 - \text{площа вікна}$$

$$n_2 = 1$$



2. Тепловий потік через стелю

$$Q_3 = \frac{1}{R_3} * A_3 * (t_6 - t_3) * (1 + \sum \beta) * n_3 = \frac{1}{2,4} * 25,85 [20 - (-23)] (1 + 0,05) * 0,7 = 340,41 \text{ Вт}$$

$$A_3 = m * L = 4,7 * 5,5 = 25,85 \text{ м}^2 - \text{площа стелі}$$
$$n_3 = 0,7$$

3. Тепловий потік через стелю

$$Q_4 = \frac{1}{R} * A_4 * (t_6 - t_3) * (1 + \sum \beta) * n_4 = \frac{1}{2,4} * 25,85 * [20 - (-23)] (1 + 0,05) * 0,4 = 222,31 \text{ Вт}$$

$$A_4 = m * L = 4,7 * 5,5 = 25,85 \text{ м}^2 - \text{площа підлоги}$$
$$n_4 = 0,4 \text{ (прийнято)}$$

4. Сумарний тепловий потік через огорожуючі конструкції

$$Q_A = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 722,4 + 216,72 + 340,41 + 222,31 = 1501,8 \text{ Вт}$$

5. Витрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря

$$Q_E = 0,337 * 25,85 * 3,5 [43] = 1311 \text{ Вт}$$

6. Втрати теплоти приміщенням

$$Q_1 = Q_A + Q_E = 1501,8 + 1311 = 2812,8 \text{ Вт}$$

7. Теплова потужність опалювальних приладів

$$Q_{np} = Q_1 - Q_2 = 2812,8 - 600 = 2212,8 \text{ Вт}$$

$$Q_{зп} = 0 \text{ (прийнято)}$$

Джерела: [2, 8].

### 1.3. Практичне заняття №3. Розрахунок витрат теплової і електричної енергії для систем вентиляції і кондиціювання повітря

Мета заняття - закріплення теоретичних знань з питань улаштування і принципів роботи систем вентиляції і кондиціювання повітря, ознайомлення з принципами розрахунків потреби в енергії для вказаних систем.

Теплова енергія в системах вентиляції і кондиціювання повітря необхідна для нагрівання повітря перед подачею його до приміщень від зовнішньої температури ( $t_2$ ) до температури повітря у приміщенні ( $t_1$ ). Витрати теплоти для цього обчислюють за формулою

$$Q_{\text{в}} = V * c_{\text{п}} * (t_1 - t_2), \quad (1.10)$$

де  $V$  - витрати повітря;  $c_{\text{п}}$  - питома теплоємність повітря.

При централізованому тепlopостачанні споруд необхідна для нагрівання повітря теплота надходить з теплових мереж у вигляді нагрітої води або водяної пари. Для передачі теплоти від гріючої речовини (вода, пара) до повітря, що нагрівається, використовують теплообмінні апарати, які називають калориферами. Витрати гріючої речовини і її температуру визначають з рівняння теплового балансу для калорифера за формулою

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{г}} = G * c_{\text{г}} * (t_1 - t_2), \quad (1.11)$$

де  $Q_{\text{п}}$  - теплота, яку необхідно відвести від гріючої речовини до повітря;  $G$ ,  $c_{\text{г}}$  - витрати і теплоємність гріючої речовини;  $t_1, t_2$  - температура гріючої речовини на вході й виході калорифера.

Електроенергія в системах вентиляції і кондиціонування повітря необхідна для роботи електродвигунів вентиляторів, які забезпечують рух повітря по системі повітропроводів. Потужність електродвигунів обчислюють за формулою

$$N_B = \frac{V_n \cdot H \cdot g}{1000 \cdot \eta_B}, \text{ кВт} \quad (1.12)$$

де  $V_n$  - витрати повітря  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  - напір повітря на виході з вентилятора, м вод ст.;  $g=9,8 \text{ м}/\text{с}^2$  - прискорення вільного падіння;  $\eta_B$  - коефіцієнт корисної дії вентилятора.

Напір повітря на виході з вентилятора залежить від втрат тиску в елементах системи і величини напору на вході до приміщення ( $H_B$ ) за формулою

$$H = H_{вт} + H_B \quad (1.13)$$

Втрати тиску повітря при русі його у повітропроводі складаються з втрат через тертя і втрат тиску у місцевих опорах і дорівнюють

$$H_{вт} = H_{\tau} + H_{\kappa} \quad (1.14)$$

Річні витрати електроенергії для роботи електродвигуна вентилятора обчислюють за формулою

$$N_p = N \cdot T_1 \cdot T_2, \text{ кВт} \cdot \text{годин} \quad (1.15)$$

$T_1$  - тривалість діб роботи обладнання за рік;

$T_2$  - тривалість роботи обладнання за добу, годин.

### Контрольні завдання

**Завдання 1.12.** Визначити витрати гріючої води з теплових мереж для нагрівання повітря від температури  $-20^\circ\text{C}$  до  $20^\circ\text{C}$ . Витрати повітря і його теплоємність прийняти відповідно  $1 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  і  $1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Температуру мережної води на вході і виході з калориферу прийняти  $135^\circ\text{C}$  і  $70^\circ\text{C}$ , відповідно. Теплоємність води дорівнює  $4187 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ .

**Відповідь:**  $0,416 \text{ м}^3/\text{с}$

**Завдання 1.13.** Для умов попереднього завдання обчислити площу теплообмінної поверхні калорифера, якщо коефіцієнт теплопередачі дорівнює  $90 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Схема руху – протиток.

**Розв'язання:**

1. Теплова продуктивність калорифера

$$Q_n = V \cdot c_n (t_n - t_z) = 1 \cdot 1000 [20 - (-20)] = 40000 \text{ Вт}$$

2. Середня логарифмічна різниця температур (див. рис. 1.3)

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_N}{\ln(\Delta t_B / \Delta t_N)} = \frac{115 - 90}{\ln(115/90)} = 102^\circ\text{C}$$

де  $\Delta t_B = 135 - 20 = 115^\circ\text{C}$  - більша різниця температур речовин у калорифері;

$\Delta t_N = 70 - (-20) = 90^\circ\text{C}$  - менша різниця температур речовин у калорифері.

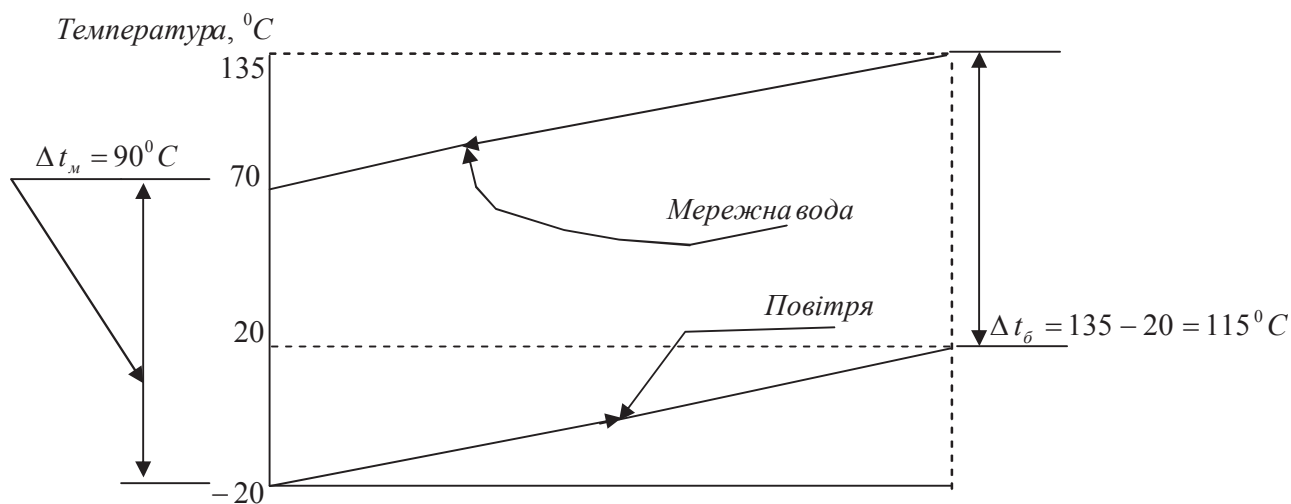


Рис. 1.3 – Зміна температури речовин

3. Площу поверхні теплообміну калорифера визначаємо з рівняння теплопередачі

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{40000}{90 \cdot 102} = 4,36 \text{ м}^2$$

**Завдання 1.14.** Обчислити до якої температури можна нагріти повітря у калорифері, якщо температура зовнішнього повітря дорівнює  $-10^\circ\text{C}$ , а його витрати  $1,7 \text{ кг/с}$ . Витрати мережної води становлять  $0,217 \text{ кг/с}$ , а її температура знижується з  $130^\circ\text{C}$  до  $70^\circ\text{C}$ . Теплоємність води і повітря прийняти відповідно  $4187 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$  і  $1000 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$

**Відповідь:**  $22^\circ\text{C}$

**Завдання 1.15.** Визначити потужність електродвигуна вентилятора для подачі  $2,4 \text{ кг/с}$  повітря, якщо втрати тиску у повітроводах через тертя становить  $1,1 \text{ м вод. ст.}$ , сума коефіцієнтів місцевих опорів дорівнює  $6,5$ , швидкість повітря  $1,5 \text{ м/с}$ , а напір повітря на вході повітря з повітропроводу до приміщення становить  $12 \text{ м вод. ст.}$  Коефіцієнт корисної дії вентилятора прийняти  $0,35$ .

**Відповідь:**  $0,89 \text{ кВт}$

**Завдання 1.17.** З будівлі видаляють  $3 \text{ кг/с}$  повітря з температурою  $23^\circ\text{C}$ . У системі вентиляції передбачено встановлення теплообмінника для утилізації теплоти вихідного повітря з площею поверхні теплообміну  $14 \text{ м}^2$ . Обчислити температуру до якої можна нагріти у теплообміннику зовнішнє повітря з температурою  $-5^\circ\text{C}$ , якщо коефіцієнт теплообміну у каналах для руху гріючого повітря  $110 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , у каналах для повітря, що нагрівають,  $-150 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , а середня логарифмічна різниця температур у апараті дорівнює  $12^\circ\text{C}$ .

**Відповідь:**  $0,91^\circ\text{C}$

**Джерела:** [4, 6, 9].

#### 1.4. Практичне заняття №4. Розрахунок витрат теплової і електричної енергії для систем водопостачання

Мета заняття – закріплення теоретичних знань з питань улаштування і принципів роботи систем водопостачання, ознайомлення з принципами визначення енергоспоживання системами.

Температура гарячої води для господарсько-побутових потреб згідно з нормативними вимогами становить 55-60 °C. Нагрівання води здійснюють у газових підігрівниках при спалюванні газу, або в електродігрівниках за допомогою електроенергії, або у теплообмінних апаратах за рахунок теплопередачі від гріючого теплоносія (вода, водяна пара), що надходить з теплових мереж.

Витрати теплоти для нагрівання води від температури  $t_x$  до  $t_r$  дорівнюють

$$Q_B = G_B \cdot C_B (t_r - t_x), \text{ Вт}, \quad (1.16)$$

де  $G_B$  - витрати води, кг/с;  $C_B$  - питома теплоємність води, Дж/(кг\*°C).

Витрати газу для нагрівання води визначають за формулою

$$g = \frac{Q_B}{Q_p^H \cdot \eta_K}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (1.17)$$

де  $Q_p^H$  - калорійність палива,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  ( $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$ );  $\eta_K$  - коефіцієнт корисної дії пристрою для спалювання газу.

Параметри електричного нагрівача можна визначити з рівняння

$$Q = I \cdot U = I^2 \cdot R, \text{ Вт} \quad (1.18)$$

I, U – відповідно сила і напруга електричного струму; R- електричний опір матеріалу нагрівальних елементів.

Витрати гріючого теплоносія і його температуру обчислюють за рівнянням (1.10), тепловий потік від гріючого теплоносія до води, що нагрівається, за рівнянням теплопередачі

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}, \quad (1.19)$$

де K - коефіцієнт теплопередачі (див. рівняння (1.4), (1.5)); F - площа поверхні теплопередачі,  $\text{м}^2$ ;

Середню логарифмічну різницю температур  $\Delta t_{cp}$  обчислюють за формулою

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_H}{\ln(\Delta t_B / \Delta t_H)}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.20)$$

де  $\Delta t_B, \Delta t_H$  - більша та менша різниця температур у апараті.

Потужність електродвигунів насосів водопостачання обчислюють за формулою, аналогічною рівнянню (1.11)

$$N_H = \frac{G \cdot H \cdot g}{1000 \cdot \eta_B}, \text{ кВт}, \quad (1.21)$$

де G - витрати води  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ; H – напір води на виході з насосу м вод. ст.;  $\eta_B$  - ККД насоса.

### Контрольні завдання

**Завдання 1.18.** Визначити витрати газу для підігрівника гарячої води, якщо витрати води 1кг/с, нагрівання води здійснюється від температур 5°C до 55°C. Калорійність газу і ККД підігрівника дорівнюють відповідно 40000 кДж/м<sup>3</sup> і 0,8.

**Відповідь:** 0,0065 м<sup>3</sup>/с = 23,55  $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ .

**Завдання 1.19.** Для умов попереднього завдання визначити витрати гріючого теплоносія (мережна вода; теплоємність 4187 Дж /кг\*°C) через теплообмінник гарячого водопостачання, якщо температура його на вході 77 °C, на виході з теплообмінника 42 °C.

**Відповідь:** 1,43 кг/с.

**Завдання 1.20.** Використовуючи вихідні данні завдань 1.18, 1.19, обчислити площу поверхні теплообміну підігрівника, якщо коефіцієнт теплопередачі апарату дорівнює 1000 Вт/(м<sup>2</sup>), схема руху речовин у апараті – протиток.

**Відповідь:** 7,26 м<sup>2</sup>

**Завдання 1.21.** Систему гарячого водопостачання виконано за тупиковою схемою. Обчислити втрати теплоти від зливання охолодженої за нічні години води з системи, якщо довжина і внутрішній діаметр квартальних трубопроводів дорівнює 700 м і 425 мм, а довжина і діаметр трубопроводу домової системи 50м 32 мм, відповідно.

**Відповідь:** 1807\* 10<sup>6</sup> Дж.

**Завдання 1.22.** Для умов попереднього завдання обчислити витрати енергії насоса, що забезпечує видалення охолодженої в системі води, якщо витрати охолодженої води через водорозбірні пристрої дорівнюють 6 кг/с, а сумарні втрати тиску в системі становлять 4,5 м вод. ст., напір води на вводах в будівлі прийняти 34 м вод. ст. , ККД насосу 0,55.

**Відповідь:** 1,65 кВт\*год

**Завдання 1.23.** Після монтажу циркуляційних трубопроводів і спеціального насосу тупикову систему, описану у завданні 1.21, переведено у роботу в циркуляційному режимі. Скориставшись вихідними даними попередніх завдань, обчислити витрати електроенергії за 8 годин роботи циркуляційного насоса гарячого водопостачання. Втрати теплоти прийняти за завданням 1.21.

**Відповідь:** 533 кВт \*год

**Джерела:** [1, 2, 6, 9].

## 2. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У СИСТЕМАХ ВИРОБЛЕННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 2.1. Практичне заняття №5. Обчислення витрат палива для забезпечення району забудови теплою

Мета заняття – ознайомлення з методикою визначення витрат теплоти і палива для груп будівель за укрупненими показниками.

Теплова енергія у житлових кварталах і мікрорайонах витрачається для опалення, гарячого водопостачання і вентиляції будівель.

Максимальні витрати теплоти для опалення будівель обчислюють за формулою

$$Q_{0, \max} = g_0 * A * (1 + K_1), \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

де  $g_0$  - норма витрат теплоти на опалення  $1 \text{ м}^2$  будівлі для даної місцевості,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $A$  - опалювальна площа будинків,  $\text{м}^2$ ;  $K_1$  - коефіцієнт, що враховує витрати теплоти на опалення громадських будівель.

Максимальні витрати теплоти на вентиляцію будівель дорівнюють

$$Q_{в, \max} = g_2 * A * K_1 * K_2, \text{ Вт}, \quad (2.2)$$

де  $K_2$  - коефіцієнт, що враховує витрати теплоти на вентиляцію громадських будівель.

Максимальні витрати для потреб гарячого водопостачання визначають за формулою

$$Q_{г, \max} = g_r * m * 2,4; \text{ Вт}, \quad (2.3)$$

де  $g_r$  - норма витрат теплоти на гаряче водопостачання для одного мешканця,  $\text{Вт}/\text{мешк.}$

Сумарні витрати теплоти для групи будівель дорівнюють сумі окремих складових

$$Q = Q_{0, \max} + Q_{в, \max} + Q_{г, \max}, \text{ Вт}. \quad (2.4)$$

Витрати теплоносія з теплових мереж для потреб опалення і вентиляції будівель обчислюють за формулою

$$G_0 = \frac{Q_{0, \max} + Q_{в, \max}}{c * (t_{1p} - t_{2p})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (2.5)$$

де  $c$  - питома теплоємність теплоносія;  $t_{1p}, t_{2p}$  - розрахункові температури теплоносія у подавальному й зворотному трубопроводах теплових мереж.

Витрати теплоносія з теплових мереж для гарячого водопостачання дорівнюють

$$G_r = \frac{Q_{г, \max}}{c * (t_r - t_x)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (2.6)$$

де  $t_r, t_x$  - розрахункові для гарячого водопостачання температури теплоносія.

Сумарні витрати теплоносія для групи будівель

$$G = G_0 + G_r. \quad (2.7)$$

Витрати палива котлами для потреб теплопостачання обчислюють за формулою

$$g = \frac{Q_k}{Q_p^H * \eta_k}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right), \quad (2.8)$$

де  $Q_k$  - теплове навантаження,  $\text{Вт}$ ;  $Q_p^H$  - калорійність палива,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \left( \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right)$ ;  $\eta_k$  - коефіцієнт корисної дії котла.

Теплове навантаження опалювальної котельні у загальному випадку складається з потреби в тепловій енергії споживачів  $Q_c$  і втрат теплоти, що

мають місце при русі теплоносія у подавальному  $Q_n$  і зворотному  $Q_z$  трубопроводах теплових мереж. Визначають його за формулою

$$Q_k = Q_c + Q_n + Q_z. \quad (2.9)$$

### Контрольні завдання

**Завдання 2.1.** Для мікрорайону, площа якого 9 Га, визначити максимальні витрати теплоти на опалення і вентиляцію при умовах, що норма витрат теплоти на опалення становить  $q_o = 100 \text{ Вт/м}^2$ , щільність житлового фонду  $d = 3100 \text{ м}^2/\text{Га}$ , коефіцієнти для врахування витрат теплоти на опалення і вентиляцію громадських будівель дорівнюють відповідно  $\kappa_1 = 0,25$  і  $\kappa_2 = 0,6$ .

**Відповідь:**  $Q_{o, \max} = 3,49 \text{ МВт}$ ;  $Q_{z, \max} = 0,419 \text{ МВт}$ .

**Завдання 2.2.** Використовуючи вихідні данні і результати розв'язання попереднього завдання, визначити для мікрорайону витрати теплоти для гарячого водопостачання, прийнявши норму житла на одного мешканця  $18 \text{ м}^2$  і норму витрат теплоти  $q_r = 407 \text{ Вт/мешк.}$

**Відповідь:** 1514040 Вт

**Завдання 2.3.** Мікрорайон забезпечується теплотою від мікрорайонної котельні. Визначити витрати газу котельнею, якщо витрати теплоти споживачами дорівнюють 5,42 Вт, сумарні втрати теплоти трубопроводами становлять 5 % від потреби мікрорайону, калорійність газу  $42000 \text{ Дж/м}^3$ , ККД котлів 0,9.

**Відповідь:**  $150,55 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Завдання 2.4.** Витрати теплоти на опалення будівель при температурі зовнішнього повітря  $t_z = -20^\circ\text{C}$  дорівнюють 0,7 МВт. Визначити витрати теплоти на опалення при температурі зовнішнього повітря  $t_z = -5^\circ\text{C}$ , якщо температура повітря у приміщенні становить  $20^\circ\text{C}$ .

**Відповідь:** 0,438 МВт

**Завдання 2.5.** Обчислити економію газу за опалювальний сезон тривалістю 191 діб, який витрачається для опалення будівель, якщо коефіцієнт корисної дії котлів збільшити зі значення 0,8 до 0,9. Вихідні дані для розрахунків: середня температура зовнішнього середовища за опалювальний період  $t_{cp} = -2,1^\circ\text{C}$ ;  $t_{p.o.} = -23^\circ\text{C}$ ; температура повітря у приміщенні  $18^\circ\text{C}$ ; максимальні витрати теплоти на опалення 1,5 МВт; калорійність газу  $35000 \text{ КДж/м}^3$

**Відповідь:**  $48,68 \cdot 10^3 \text{ м}^3$

**Джерела:** [1, 2, 4, 5, 10].



## 2.2. Практичне заняття №6. Розрахунок втрат теплоти ізолюваними трубопроводами

Мета заняття – ознайомлення з методикою визначення втрат теплоти трубопроводами і обчислення охолодження теплоносія при русі його по тепловим мережам.

Температуру теплоносія в кінці ділянки теплопроводу ( $t_2$ ) визначають з рівняння

$$Q = G_g \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \quad (2.10)$$

де  $Q$  – витрати теплоти на ділянці, Вт;  $c$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/кг·°C;  $t_1$  – температура теплоносія на вході ділянки, °C.

Втрати теплоти на ділянці можна обчислити, знаючи питомі втрати  $g$ , які залежать від способу прокладання теплових мереж і температури теплоносія за формулою

$$Q = g \cdot l_g \cdot k, \quad (2.11)$$

де  $l_g$  – довжина ділянки;  $k$  – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти конструктивними елементами мережі (залежно від способу прокладання).

Питомі втрати теплоти (тобто втрати 1м трубопроводу) залежать від температури оточуючого середовища ( $t_0$ ) і повного термічного опору ізолюваного трубопроводу ( $R$ ). Їх можна визначити за формулою

$$g = \frac{t - t_0}{R} \quad (2.12)$$

При надземному прокладанні теплових мереж  $t_0$  є температура зовнішнього повітря, при підземному безканальному способі і підземному прокладанні у непрохідних каналах у розрахунки приймають температуру ґрунту на глибині закладання теплопроводу.

Повний термічний опір теплопроводу при надземному прокладанні є сумою термічних опірів тепловіддачі від теплоносія до стінки трубопроводу  $R_{сн}$ , матеріалу труби  $R_{тн}$ , основного ізоляційного шару  $R_{із}$ , тепловіддачі від поверхні трубопроводу до зовнішнього повітря  $R_{н}$

$$R = R_{сн} + R_{тн} + R_{із} + R_{н} \quad (2.13)$$

$$R_{сн} = \frac{1}{\alpha_{сн} \cdot \pi \cdot d_{сн}}; \quad R_{тн} = \frac{\ln(d_t/d_{сн})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{тн}};$$
$$R_{із} = \frac{\ln(d_{із}/d_{із1})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{із}}; \quad R_{н} = \frac{1}{\alpha_{н} \cdot \pi \cdot d_{із}}$$

де  $\alpha_{сн}$  – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки труби;  $d_{сн}$ ,  $d_t$  – внутрішній і зовнішній діаметр трубопроводу;  $\lambda_{тн}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби;  $d_{із1}$  – діаметр ізоляційного шару;  $\lambda_{із}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу теплоізоляції;  $\alpha_{н}$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні теплоізоляційної конструкції до зовнішнього повітря.

### Контрольні завдання

**Завдання 2.6.** Паропровід довжиною 1000 м діаметром 329/309 мм, прокладений надземним способом, має теплоізоляційний шар товщиною 50 мм з коефіцієнтом теплопровідності  $0,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Визначити втрати теплоти паропроводом, якщо коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки труби  $150 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ , а від



поверхні теплоізоляції до зовнішнього повітря  $20 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , температура пари і повітря  $170^\circ\text{C}$  і  $10^\circ\text{C}$  відповідно; коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби  $30 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ .

**Відповідь:** 213904 Вт

**Завдання 2.7.** Як зміняться втрати теплоти паропроводом, якщо теплоізоляційний шар матиме товщину 70 мм. Інші вихідні дання прийняти такими самими як у попередньому завданні.

**Відповідь:** 162933 Вт. Зменшаться у 1,3 рази..

**Завдання 2.8.** Ділянка подавального трубопроводу теплових мереж довжиною 1000м має питомі втрати теплоти  $60 \text{ Вт/м}$ . Обчислити температуру мережної води на виході з ділянки, якщо температура на вході дорівнює  $105^\circ\text{C}$ , а витрати води  $25,2 \text{ т/год}$ . Втрати теплоти конструктивними елементами мережі врахувати коефіцієнтом 1,15. Питому теплоємність води прийняти  $4187 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$

**Відповідь:**  $102,65^\circ\text{C}$

**Завдання 2.9.** Зворотній трубопровід теплових мереж, прокладений безканально, має довжину 2500 м. Визначити теплові втрати трубопроводу при середній температурі теплоносія на ділянці  $65^\circ\text{C}$ , якщо теплові втрати при температурі теплоносія  $50^\circ\text{C}$  і ґрунту на глибині прокладання  $5^\circ\text{C}$  дорівнюють  $35 \text{ Вт/м}$

**Відповідь:** 116667 Вт

**Завдання 2.10.** Двотрубна тепла мережа від опалювальної котельні довжиною 3 км характеризується величинами питомих втрат теплоти подавального й зворотного трубопроводів відповідно 69 і  $46 \text{ Вт/м}$ . Визначити добові витрати газу опалювальної котельнею, якщо потреба в теплоті споживачів дорівнює  $3,7 \text{ МВт}$ , калорійність палива  $40000 \text{ кДж/м}^3$ , коефіцієнт корисної дії котлів 0,8.

**Відповідь:**  $10920 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

**Завдання 2.11.** Для умов попереднього завдання обчислити добову економію палива при впровадженні наступних енергозберігаючих заходів:

1. зменшення втрат теплоти теплопроводами вдвічі;
  2. збільшення коефіцієнта корисної дії котлів опалювальної котельні до 0,85
- Проаналізувати результати розрахунків.

**Відповідь:** - економія палива від зменшення втрат теплоти теплопроводами при незмінному ККД дорівнює  $464 \text{ м}^3/\text{добу}$ ;

- економія палива від збільшення ККД при незмінних втратах теплоти трубопроводами дорівнює  $641 \text{ м}^3/\text{добу}$ ;

- економія палива при зменшенні втрат теплоти теплопроводами і збільшенні ККД дорівнює  $1079,3 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

**Джерела:** [1, 2, 3, 5, 6].

### **2.3. Практичне заняття №7. Обчислення вартісних показників спорудження і експлуатації об'єктів енергозабезпечення (на прикладі теплових мереж). Оптимальні питомі втрати тиску для водяних мереж**

Загальні витрати коштів для системи енергозабезпечення або для її окремого елемента є сумою капітальних вкладень і експлуатаційних витрат:

$$Z = K \cdot E + C \quad (2.14)$$

де  $E$  - коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Капітальні вкладення – це кошти, необхідні для придбання, монтажу обладнання, його випробування і пуску в експлуатацію. Експлуатаційні витрати утворюють кошти, необхідні у процесі роботи обладнання. Для теплових мереж капітальні вкладення дорівнюють сумі вартості трубопроводів, опор для їх встановлення, теплоізоляції, земельних робіт для прокладання мереж, гідравлічної арматури, монтажних робіт, випробувань теплопроводів. До експлуатаційних витрат відносять вартість електроенергії для роботи мережних насосів, вартість нормативних втрат теплоти трубопроводами, заробітна платня персоналу, вартість ремонтних робіт.

Різні параметри теплових мереж по різному впливають на вартісні показники. Наприклад, збільшення діаметру трубопроводів обумовлює зростання металоємності мереж і капітальних вкладень в цілому та теплових втрат при транспортуванні теплоносія. З іншого боку, збільшення діаметру обумовлює зменшення втрат тиску, а отже витрат електроенергії для роботи мережних насосів водяних мереж.

#### **Контрольні завдання**

**Завдання 2.12.** Використовуючи дані додатку В, визначити вартісні показники фрагмента теплової мережі довжиною 1500 м, прокладеної у непрохідних каналах, якщо діаметр трубопроводу становить 133 мм. Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень прийняти рівними 0,15.

**Відповідь:**  $K=466800$ ;  $C=48000$  грн/рік;  $Z=118020$  грн/рік

**Завдання 2.13.** Обчислити вартість річних витрат електроенергії мережним насосом, що має ККД рівний 0,65, якщо витрати води у двотрубних мережах 40 кг/с, питомі втрати тиску в теплопроводі 10 мм/м, коефіцієнт для врахування втрат тиску в місцевих опорах 0,2, довжина теплопроводу 1500м, тривалість роботи насосу 191 доба, напір на ввіді до споживача 25 м вод. ст. Вартість електроенергії 0,2 грн/кВт\*год.

**Відповідь:** 8432 грн.

**Завдання 2.14.** Порівняти варіанти виконання теплової мережі, по якій здійснюється теплопостачання міста (рис.2.1). Для першого варіанта вибір діаметрів головної магістралі теплотраси здійснювати за умов, щоб питомі втрати тиску на ділянках не перевищували 5 мм/м, для другого -  $5 \leq i \leq 8$  мм вод.ст./м, для третього  $i \geq 10$  мм / м. Питому вартість встановленої потужності мережних насосів прийняти 20,8 грн /кВт, вартість електроенергії 0,15 грн/кВт\*год. Теплове навантаження мікрорайонів дорівнює: для першого мікрорайону 2,77 МВт, другого - 5,55 МВт, третього - 4,44 МВт, четвертого - 2,49МВт.

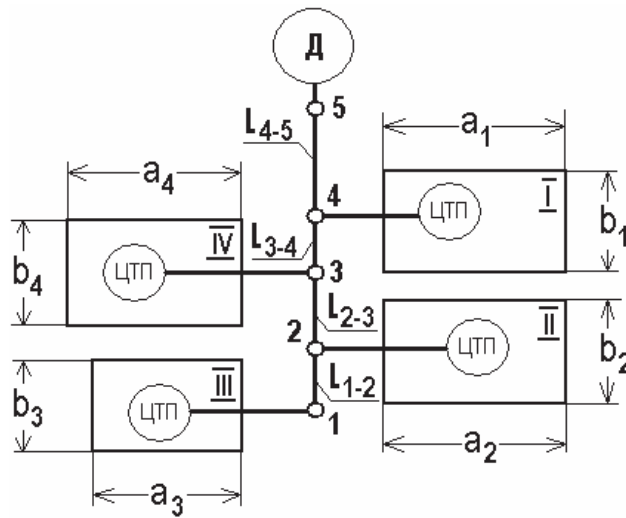


Рис. 2.1 – Розрахункова схема теплопостачання міста:  
I...IV – номери мікрорайонів; Д – джерело теплопостачання;  
ЦТП – центральний тепловий пункт

### Розв'язання.

1. Теплове навантаження ділянок:

ділянка (1-2)  $Q_{1-2} = Q_2 = 5,55 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ ,

ділянка (2-3)  $Q_{2-3} = Q_2 + Q_3 = (5,55 + 4,44) \cdot 10^6 \text{ Вт}$

ділянка (3-4)  $Q_{3-4} = Q_2 + Q_3 + Q_4 = (9,99 + 2,49) \cdot 10^6 = 12,48 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ ,

ділянка (4-5)  $Q_{4-5} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_1 = (12,48 + 2,77) \cdot 10^6 = 15,25 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ .

2. Витрати мережної води на ділянках обчислюємо за формулою (2.5).  
Результати обчислювань подано у табл. 2.1. питому теплоємність води прийнято  $c = 41,87 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $t_{1p} = 150^\circ\text{C}$ ;  $t_{2p} = 70^\circ\text{C}$ .

3. Діаметр трубопроводу і питомі втрати тиску визначаємо за допомогою номограми для гідравлічного розрахунку (додаток Г). Втрати тиску на ділянках обчислюємо за формулою

$$H_g = i \cdot l(1 + \kappa_n),$$

де  $\kappa_n = 0,3$  - коефіцієнт для врахування втрат тиску у місцевих опорах.

Результати обчислень подано у табл. 2.1.

4. Необхідний напір мережних насосів з урахуванням втрат тиску в подавальному і зворотному трубопроводах мереж

$$H = 2 \cdot \sum H_g + H_n,$$

де  $H_n = 35 \text{ м вод. ст.}$  (прийнято) - необхідний напір на вводі в мікрорайон;

$\sum H_g$  - сума втрат тиску на ділянках.

I варіант  $H_1 = 2 \cdot (0,247 + 0,65 + 0,39 + 2,6) + 35 = 47,78 \text{ м}$ ;

II варіант  $H_2 = 2 \cdot (0,845 + 1,56 + 1,04 + 5,75) + 35 = 53,39 \text{ м}$ ;

III варіант  $H_3 = 2 \cdot (2,6 + 4,6 + 4,55 + 35,75) + 35 = 140,16 \text{ м}$ .

**Таблиця 2.1 – Результати розрахунків теплової мережі.**

Ділянка	Витрати, кг/м	Довжина, м	№ варіанта	Діаметр, мм	Втрати тиску	
					Питомі, мм/м і	На ділянці мм вод ст. $H_d$
1-2	16,57	100	I	200	1,9	247
			II	150	6,5	845
			III	125	20	2600
2-3	29,8	200	I	250	2,5	650
			II	200	6,0	1560
			III	150	18	4600
3-4	37,3	100	I	250	3,0	390
			II	200	8,0	1040
			III	150	35	4550
4-5	45,5	500	I	250	4,0	2600
			II	200	15	5750
			III	150	55	35750

**5. Потужність насосних установок обчислюємо за формулою (1.20)**

I варіант  $N_1 = \frac{42,78 \cdot 45,5 \cdot 9,8}{1000 \cdot 0,65} = 29,35$  кВт;

II варіант  $N_2 = \frac{53,39 \cdot 45,5 \cdot 9,8}{1000 \cdot 0,65} = 36,63$  кВт;

III варіант  $N_3 = \frac{130,16 \cdot 45,5 \cdot 9,8}{1000 \cdot 0,65} = 89,29$  кВт.

**6. Витрати електроенергії насосами за рік (опалювальний період 189 діб)**

$$N_p = N \cdot n_0 \cdot 24.$$

I варіант  $N_{p,I} = 29,35 \cdot 189 \cdot 24 = 13313$  кВт\*годин;

II варіант  $N_{p,II} = 36,63 \cdot 189 \cdot 24 = 166154$  кВт\*годин;

III варіант  $N_{p,III} = 89,26 \cdot 189 \cdot 24 = 107877$  кВт\*годин.

**7. Капітальні вкладення в насосні установи**

$$K_n = N \cdot S_n; S_n = 20,8 \text{ грн/кВт}.$$

**8. Експлуатаційні витрати для насосних установок (для спрощення прийняти рівними вартості електроенергії)**

$$C_n = N_p \cdot S_e; S_e = \frac{0,15 \text{ грн}}{\text{кВт}} \cdot \text{год}.$$

Результати обчислень для варіантів за пп. 7, 8 та загальних витрат за формулою (2.14) наведені в табл. 2.2.

**Таблиця 2.2 – Результати визначення витрат на насосні установи**

Показник/варіант	I	II	III
$K_n, \text{грн}$	610,48	761,9	1857,2
$C_n, \text{грн./рік}$	19970	24923	61181
$Z_n, \text{грн./рік}$	20062	25037	61460

9. Капітальні вкладення в спорудження теплотраси для першого варіанта (при прокладенні у непрохідних каналах)

$$K_{т,г} = K_{1-2}^n * l_{1-2} + K_{2-3}^n * l_{2-3} + K_{3-4}^n * l_{3-4} + K_{4-5}^n * l_{4-5} =$$

$$= 407 * 100 + 607,8 + 200 + 607,8 * 100 + 607,8 * 500 = 526940 \text{ грн.}$$

Значення питомих капітальних вкладень для ділянок ( $K_{г}^n$ ) визначені за дод. В. Аналогічно визначені експлуатаційні витрати. Результати обчислень подано у табл.2.3.

**Таблиця 2.3 – Вартість спорудження і експлуатації теплотраси**

№ ділянки	I варіант				II варіант				III варіант			
	$K_{г}^n \frac{\text{грн}}{\text{м}}$	$C^n$	к тис. грн	с тис. $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$	$K_{г}^n \frac{\text{грн}}{\text{м}}$	$C^n$	к тис. грн	с тис. $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$	$K_{г}^n \frac{\text{грн}}{\text{м}}$	$C^n$	к тис. грн	с тис. $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$
1-2	407	42,8	40,7	4,28	301	33,4	30,1	3,34	298	31	29,8	3,1
2-3	607,8	52,4	121,4	104,8	407	42,8	81,4	8,32	301	33,4	60,2	6,68
3-4	607,8	52,4	60,7	5,24	407	42,8	40,7	4,28	301	33,4	30,1	3,34
4-5	607,8	52,4	303,9	26,2	407	42,8	203,5	21,4	301	33,4	150,5	16,7
В цілому для траси			526,9	46,2			355	27,34			270,6	29,82
Загальні витрати з урахуванням наносів 3, тис. грн..	145,3				99,8				118,75			

Графічна інтерпретація результатів розрахунків подана на рис. 2.2. Як свідчать наведені данні, мінімальні витрати мають місце при значеннях питомих втрат тиску  $5 < i < 8$  мм/м, тобто доцільним є другий варіант.

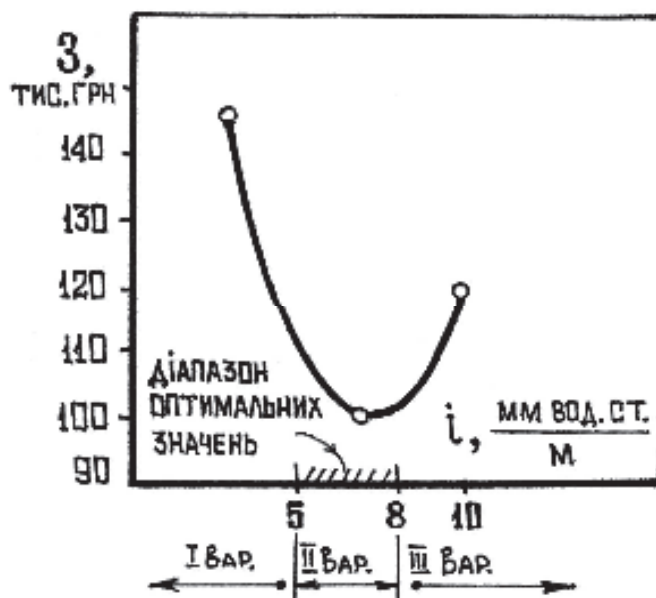


Рис. 2.2 – Порівняння варіантів виконання теплотраси

Джерела: [1, 4, 7].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шульга М.О., Алексахін О.О. Теплопостачання та гаряче водопостачання. Навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2004. – 229 с.
2. Алексахін О.О., Герасимова О.М. Приклади й розрахунки з теплопостачання та опалення. Харків: ХДАМГ, 2002. – 206 с.
3. Тепловая изоляция. Справочник строителя / Под ред. Г.Ф.Кузнецова. М.: Стройиздат, 1985. – 421 с.
4. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие / Под ред.. Л.Д.Богуславского, В.И.Ливчака. М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
5. Сазонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. Учебное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
6. Шульга Н.А., Алексахин А.А., Юхно И.Ф. Теплоснабжение и вентиляція зданий. Харьков: ХГАГХ, 2002. – 145 с.
7. Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. М.: Энергия, 1979. – 360 с.
8. Маляренко В.А. Основы теплофізики будівель та енергозбереження. Харків: «Видавництво САГА», 2006. – 484 с.
9. Белецкий Б.Ф. Санитарно-техническое оборудование зданий. М.: Стройиздат, 2002. – 512 с.
10. Роддатис К.Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
11. Повышение энергоэффективности и модернизация вентиляционных систем: Справочник. – К.: 2001. – 168 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Співвідношення одиниць вимірювання міжнародної системи з одиницями інших систем

Тиск	$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10 \text{ дин/см}^2 = 0,102 \text{ мм вод. ст.} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ ат(кг/см}^2\text{)} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$
Робота і енергія, кількість теплоти	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} = 0,239 \text{ ккал} = 0,278 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$
Потужність, тепловий потік	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 0,862 \text{ ккал/год} = 0,102 \text{ кг} \cdot \text{м/с} = 10^7 \text{ ерг/с}$
Теплоємність	$1 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{С)} = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$
Коефіцієнт теплопровідності	$1 \text{ ккал/(м} \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{год)} = 1,163 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$
Коефіцієнт тепловіддачі, теплопередачі	$1 \text{ ккал/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{год)} = 1,163 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$

### Додаток Б

Коефіцієнти теплопровідності деяких речовин і матеріалів,  $\lambda$ , Вт/м\*град

Матеріал, речовина	$\lambda$	Примітки
<i>Метали і сплави</i>		
Мідь	385	При температурі $100^\circ\text{С}$
Алюміній	206	При температурі $100^\circ\text{С}$
Латунь(60%Си,40%Zn)	120	При температурі $100^\circ\text{С}$
Сталь :		При температурі $100^\circ\text{С}$
- вуглецева 30	50,2	
- нержавіюча хромонікелева	16	При температурі $100^\circ\text{С}$
<i>Будівельні матеріали</i>		
Залізобетон (щільність $2500 \text{ кг/м}^3$ )	1,92	Умови експлуатації "А"
Цементно – піщаний розчин(щільність $1800 \text{ кг/м}^3$ )	0,76	Умови експлуатації "А"
Цегляна кладка із суцільної цегли:		
- сілікатної на цементно-піщаному розчині (щільність $1800 \text{ кг/м}^3$ )	0,76	Умови експлуатації "А"
- глиняної звичайної на цементно-піщаному розчині(щільність $1600 \text{ кг/м}^3$ )	0,58	Умови експлуатації "А"
Керамзитобетон ( $1000 \text{ кг/м}^3$ )	0,35	Умови експлуатації "А"
Газо- та пінобетон( $600 \text{ кг/м}^3$ )	0,22	Умови експлуатації "А"
<i>Теплоізоляційні матеріали</i>		
Вироби з азбесту ( $400-800 \text{ кг/м}^3$ )	0,14	Усереднене значення
Мінеральна вата( $180-250 \text{ кг/м}^3$ )	0,05	Усереднене значення
Плити PAROC ( $40-90 \text{ кг/м}^3$ )	0,033	Усереднене значення
Вироби ROCKWOOL ( $50 \text{ кг/м}^3$ )	0,04	Усереднене значення



**Продовження табл. додатку Б**

<i>Рідини і газу</i>		
Вода на лінії насичення при температурі: 20°C	0,6	
50°C	0,648	
100°C	0,683	
Водяна пара на лінії насичення при температурі: 100°C	0,237	
150°C	0,288	
200°C	0,355	
Сухе повітря при температурі: -20°C	0,023	
20°C	0,0259	
50°C	0,028	
100°C	0,0321	

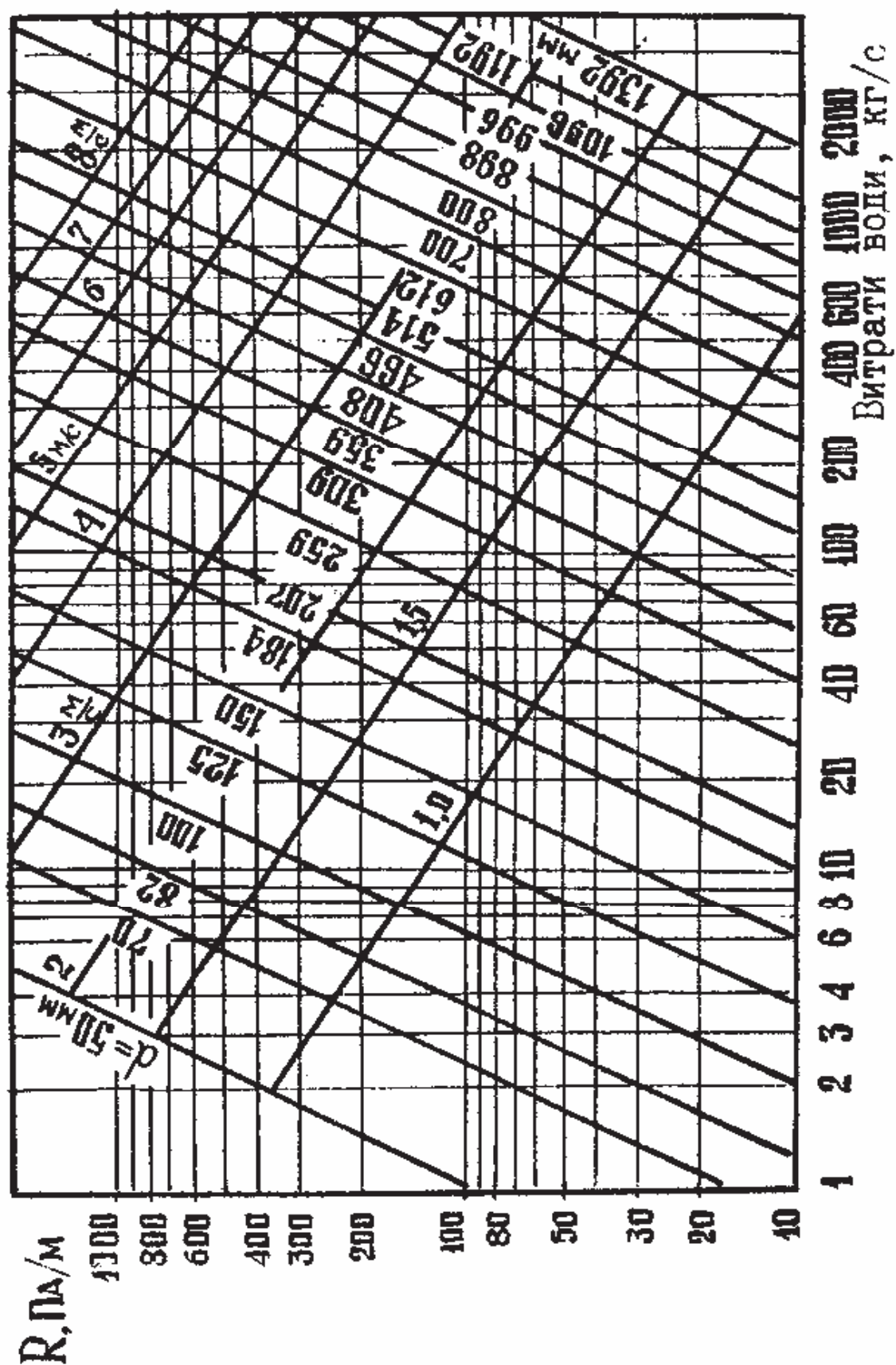
**Додаток В**

Техніко-економічні показники будівництва та експлуатації теплових мереж  
(на 1 м довжини двотрубною прокладки)

Діаметр, мм	Прокладка в непрохідних каналах серії ИС 0104		Безканальна прокладка з пінобетонною ізоляцією	
	$\kappa_{\text{пл}}, \text{грн}$	$\epsilon_{\text{пл}} \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$	$\kappa_{\text{пл}}, \text{грн}$	$\epsilon_{\text{пл}} \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$
57	222,0	22,4	106,8	10,8
83	227,6	23,2	114,0	11,6
108	284,0	29,6	277,2	27,6
133	311,2	32	288	28,6
168	323,6	34,8	324	32,4
273	625,2	54	440,8	42
325	658	60,4	505,2	43,2
426	922	68,4	641,6	50
530	1057,6	79,6	739,6	56,6



Номограма для гідравлічного розрахунку теплових мереж



*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до самостійної роботи студентів  
і практичних занять  
з дисципліни

**«Спецкурс з енергозбереження»**

*(для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.060101 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво і господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель»).*

Укладач **АЛЕКСАХІН** Олександр Олексійович

Відповідальний за випуск *Д. О. Шушляков*

Редактор *К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2012, поз. 29М

Підп. до друку 07.12.2012 р.

Друк на різнографі

Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 1,5

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4064 від 12.05.2011 р.